強磁性/超伝導トンネル接合を用いたマンガン酸化物のスピン分極率測定

東北大学理学研究科物理学専攻 低温物質科学研究室 國安 賢治

1.背景と目的

強磁性体/超伝導体(F/S)トンネル接合、または強磁性体/超伝導体/強磁性体(F/S/F)トンネル接合を用いて、強磁性体からスピン分極した電流をトンネルさせる(スピン注入)ことにより、超伝導体内のupスピンと downスピンの数がアンバランスな状態(スピン非平衡状態)を作り、対破壊を起こすことで超伝導の性質を 制御しようという試みが盛んに行われている。Lao.7Cao.3MnO3 (LCMO)はバルクでのスピン分極率が100%と いう特徴を持つ強磁性体であるため、このような実験には最適な物質と考えられている。しかし、トンネル接 合の界面での実効的なスピン分極率は、強磁性体自身のバルク的なスピン分極率だけでなく、トンネルバ リア材料の種類、および両者の界面の状態、膜質にも依存するため、強磁性体をスピントンネルデバイスと して利用する場合に、界面から放出される電子のスピン分極率を直接調べる必要がある。そこで、本研究 ではLCMOと典型的なs波超伝導体のAl、Nbを組み合わせた、強磁性/超伝導トンネル接合を作成する ことにより、LCMOの接合界面でのスピン分極状態のトンネルコンダクタンスによる観測を試みた。

2.実験

本研究では、トンネルバリア材として LCMO と結晶構造がほぼ同じ であることから多くの実験に利用されている SrTiO₃ (STO)を採用した。 STO (100)基板上に LCMO/STO(150nm/1.5nm)2 層膜を RF スパッタ 法で成膜後、超伝導体の Nb(100nm)または Al(30nm)の Island(800× $800\mu m^2$)を DC スパッタ法にフォトリソグラフィー法とリフトオフ法を組み 合わせて微細加工することで成膜し、デバイス構造を作製した。図 1(a)、(b)に試料の断面図と、上面からの顕微鏡写真を示す。LCMO 側の端子(I_+ , V_+)はSTO 表面をメスで削りとった後、Agペースト接着し た。Ag 層は Nb の保護層である。

これらの試料のトンネル I-V 特性を、磁場を膜面と平行にかけた状態 で 4 端子法によって測定し、微分することでトンネルコンダクタンス dI/dV-V 特性を得た。トンネルコンダクタンスはフェルミ面付近の超伝 導状態密度を反映する。特に磁場がかかっている場合には up スピン を持つ電子の状態密度と down スピンを持つ電子の状態密度が Zeeman 分裂によってずれ、4 つのピークを持つ左右対称な形になる が、強磁性体からスピン分極した電子がトンネルしてきて up スピンと down スピンの数が異なると V=0 を中心に左右非対称な形になる(図 2)。この形を解析することにより強磁性体の接合界面でのスピン分極 率が測定できる [Ref.1]。



図1 作成した試料の構造



図 2 強磁性/超伝導トンネル接合に 磁場を印加したときのトンネルコン ダクタンス(状態密度)

3.結果と考察

代表例として LCMO/STO/Nb トンネル接合の、SQUID による磁化の温度依存性 *M*(T)を図 3 に、0.25K における、 各磁場中(磁場は膜と平行)でのトンネルコンダクタンス d*I/dV-V* 特性を図 4 にそれぞれ示す。トンネルコンダクタ ンスは見易いように縦軸を 0.05 ずつ平行移動してある。 図 3 よりキュリー点は 225K、低温での飽和磁化から見積 もられた Mn イオンー個当たりの磁気モーメントは 3.8μ_B であり、スピン分極率はほぼ 100% の LCMO 膜が作製さ れたことが分かる。図 4 を見ると 0 磁場中において、コン ダクタンスは V=0を境に左右対称で、±0.5mV に鋭いコヒ ーレンスピークを持つ。準粒子が緩和するまでの時間に 関わるパラメータΓを考慮した、Dynes の式を用いた BCS 理論を用いてよくフィットできることより良好なトンネル接 合の作成に成功したと言える。

磁場の増大と共にコヒーレンスピークは低くなりブロー ドになる。これは Zeeman 効果によりコヒーレンスピークが 分裂したこと、超伝導ギャップが磁場により小さくなったこ とに加え、スピン方向を反転してしまうスピン軌道散乱が Nb では大きいことが関係している。注目したいのは磁場 中でのdI/dV が V=0 を境に左右非対称になっていること である。図 5 に示すように、この非対称性は磁場と共に 徐々に大きくなり、LCMO のスピン分極率の影響が現わ れていることが分かる。本研究では複数のトンネル接合 について同様な実験を行ったが Nb を用いたトンネル接 合ではどれも左右非対称でブロードな2 つのピークが観 測されるのみで、図 2 に示すような 4 つのピークをもつ dI/dV は観測できなかった。これは強磁性層からトンネル してきた電子のスピン分極率が高く、上記の効果によるコ ヒーレンスピークの広がりによって少数派のスピンのピー クが見えなくなった、つまりトンネル準粒子の分極率が 100%近くであるため、元々片方のスピンの状態密度(∝ dI/dV)がピークの観測値のほとんどを占め、磁場をかけ ることでそれが電圧正の方向にずれて左右非対称にな った、と説明出来そうである。

参考文献

[1] P.M.Tedrow and R.Meservey, Phys. Rev. B7(1973)318



図 4 LCMO/STO/Nb トンネル接合の磁場 中でのトンネルコンダクタンス(0.25K)。実 線は Dynes の式を用いた BCS 理論によるフ イッティング。



図5 V=0で折り返してプロットしたトンネル コンダクタンス。↑↓はそれぞれのピーク位置 を表す。